



III-269 - ATENUAÇÃO DE EFLUENTE DE ATERRO SANITÁRIO UTILIZANDO-SE A MISTURA DO CHORUME COM DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS

Vitor H. C. Konarzewski⁽¹⁾

Engenheiro Industrial Químico pela Feevale. Especialista em prevenção de Incêndios e Explosões pela UFRGS, Mestrando em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais pela UFRGS.

Ivo A. H. Schneider⁽²⁾

Engenheiro de Minas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1988), mestrado em Metalurgia Extrativa pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS (1991) e doutorado em Metalurgia Extrativa pela UFRGS (1995). Professor adjunto da UFRGS com bolsa de produtividade em pesquisa - Nível 2 - do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Endereço⁽¹⁾: Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bairro Agronomia - Porto Alegre - RS. CEP: 91501-970 – Brasil – Tel.: 55(51) 51 33167104 Fax: (51) 33167116 e-mail: vitorhk@sinos.net e-mail: ivo.andre@ufrgs.br

RESUMO

Efluentes contaminados por chorume, oriundos da degradação de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, ou a drenagem ácida de minas (DAM), originados pela oxidação da pirita em rejeitos de carvão, são problemas atuais em termos de impacto ambiental no Estado do Rio Grande do Sul. O tratamento destes efluentes, via de regra, é bastante oneroso, mas necessário, uma vez que a liberação *in natura* destas fontes poluidoras pode ser responsável pela degradação severa do ambiente. Em geral, metodologias convencionais de tratamento (como a precipitação/sedimentação, no caso da DAM, e processos biológicos, no caso do chorume) mostram-se economicamente custosas ou tecnicamente deficientes. Frente a este desafio, esta pesquisa baseou-se na avaliação do tratamento conjunto de DAM e chorume, via homogeneização, a fim de diminuir custos tradicionais decorrentes. O processo consiste no aproveitamento da alcalinidade do chorume para neutralizar a acidez da DAM. Ao mesmo tempo, o ferro e o alumínio presentes na DAM permitem a coagulação dos sólidos suspensos, removendo uma significativa carga de poluentes. Resultados obtidos em laboratório no tratamento destes efluentes permitiram uma significativa redução de vários poluentes, incluindo carga orgânica, nutrientes (N e P), metais pesados e bactérias do grupo coliforme. O efluente final melhorou muito suas características em relação aos padrões de emissão de efluentes líquidos estabelecidos para o Estado do Rio Grande do Sul (Resolução número 128/2008 do CONSEMA).

PALAVRAS-CHAVE: aterro sanitário, chorume, drenagem ácida de minas, tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

Um dos mais sérios problemas da mineração de carvão é a drenagem ácida de minas (DAM), resultante de reações químicas de oxidação da pirita (FeS_2). HALLBERG (2003). A DAM afeta a qualidade da água, baixando o pH, aumentando a acidez e acrescentando quantidades indesejáveis de sulfato, ferro, alumínio, manganês e outros metais (KONTOPOULOS, 1998). No Brasil, a drenagem ácida de minas (DAM) está associada principalmente à atividade de exploração carbonífera, abrangendo os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Segundo Kopeziński (2000), a estocagem de rejeitos das minerações de carvão ainda é um grande problema ambiental para a Região Sul do Brasil.

Os impactos da drenagem ácida sobre os recursos hídricos são manifestados tanto pelas alterações na qualidade da água quanto na integridade da fauna e flora. Neste sentido, a avaliação das variáveis físico-químicas e biológicas envolvidas no exame de uma DAM é fundamental. Da mesma forma, lixiviados de resíduos sólidos urbanos (LRSU), conhecidos como “chorume”, também são um problema ambiental. Essas águas de percolação caracterizam-se pela alta concentração de matéria orgânica e presença de alcalinidade, nitrogênio, fósforo, metais e microrganismos (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A degradação da matéria orgânica e inorgânica proveniente de aterros sanitários, ou “lixões” a céu aberto, referenciados por Monteiro (2006), se processa por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos, gerando a transformação da massa dos resíduos sólidos em formas solúveis e gasosas, além da diminuição do volume inicial. A mistura de uma grande variedade química, sob a influência de agentes naturais (chuva e microorganismos) é objeto de evoluções complexas, gerando o chorume, com elevada carga orgânica,



presença de metais pesados, além de elevados índices de coliformes e outras substâncias tóxicas e recalcitrantes em sua composição.

No Estado do Rio Grande do Sul, o maior aterro sanitário foi construído na mina de Carvão do Recreio, no Município de Minas do Leão. COPELMI (1987, 1996) cuja vida útil foi estimada em aproximadamente 15 anos, recebendo aproximadamente 70 % dos resíduos sólidos urbanos de Porto Alegre, além de outros municípios da região. Neste contexto, ambos efluentes estão presentes em um mesmo local em quantidades superiores a centenas de metros cúbicos ao dia. Assim, o objetivo do presente trabalho foi estudar o tratamento conjunto da DAM e do LRSU, em busca de uma otimização do processo de tratamento dos efluentes gerados. Cuja técnica abordada baseia-se na neutralização da acidez da DAM pela alcalinidade do LRSU. Em contrapartida, a DAM fornece Fe (III) e Al (III) para a coagulação dos sólidos suspensos do LRSU.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de desenvolvimento do presente trabalho incluiu inicialmente a coleta de amostras de DAM e do líquido de percolação do aterro sanitário, devidamente preservadas, cuja caracterização inicial foi realizada dentro das primeiras 24 horas da coleta. A amostra de DAM foi aerada para conversão do todo o ferro para a forma Fe (III) e o chorume foi mantido sob refrigeração a 4°C até o início dos experimentos em laboratório, seguindo a metodologia do *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Na fase preliminar dos testes os efluentes foram misturados em diferentes proporções para identificação do volume adequado da mistura dos dois efluentes para efeitos de neutralização e coagulação.

Definida a melhor proporção de mistura, no caso a mistura 6:1, baseado no critério de pH x turbidez aparente, a solução foi colocada em aparelho de Jarros sob agitação lenta para formação dos coágulos. A quantidade de lodo foi medida em termos de volume de sólidos sedimentáveis e massa de lodo gerada. Para determinar a eficiência de processos, foram preparados quatro diferentes tipos de tratamento, sendo denominado tratamento convencional, simples, anaeróbio e aeróbio.

Ressalta-se que este teste já havia sido realizado antes em nível de bancada com amostras de DAM e LRSU de outra região, em concentrações diversas e diluídas das presentes, apresentando resultados positivos de remoção de DQO e turbidez.

O tratamento convencional foi caracterizado pelo uso de flocculantes catiônicos e aniônicos de alto peso molecular, cujo processo de floculação e separação foi similar ao tratamento denominado de “simples”.

O tratamento simples consistiu na mistura e homogeneização das duas substâncias em bancada, num volume experimental de um litro e proporção adotada de 6 partes de DAM e uma de chorume, esperando-se uma hora para estabilização da solução, passando após por um processo de filtragem simples com filtro de papel, separando-se o lodo e sobrenadante do efluente. O efluente separado, após uma hora, foi remetido para caracterização.

O tratamento anaeróbio consistiu numa mistura na proporção de 6:1 de DAM e chorume respectivamente, aguardando-se uma hora para estabilização e filtração inicial do efluente. Após, o efluente tratado foi colocado em um vasilhame escuro e fechado, para manter características anaeróbias, abrindo-se o receptáculo após cinco dias para análise. O tratamento aeróbio diferenciou-se do anaeróbio por manter o efluente num recipiente aberto, sob exposição de luz ambiente e aeração ininterrupta por cinco dias, para posterior análise.

Os efluentes tratados sob diversas técnicas, bem como os efluentes originais, foram analisados em relação aos seguintes parâmetros de qualidade de água: pH, acidez, sólidos totais, sólidos suspensos totais, DQO, DBO₅, nitrogênio Kjeldahl total (NKT), fósforo total, ferro, alumínio, manganês, zinco, cromo, cobre, níquel, cádmio, chumbo, sulfatos, bactérias heterotróficas totais e coliformes totais (APHA, 2005). Com esses dados, calcularam-se as cargas removidas para alguns dos parâmetros de qualidade da água. Adicionalmente, avaliaram-se, em testes de Jarros, tipos de polímeros para a floculação dos sólidos suspensos, cujos resultados foram semelhantes à simples mistura dos efluentes. O tempo de tratamento para alguns ensaios foi de aproximadamente uma hora, sendo que ensaios anaeróbios foram realizados no prazo de cinco dias.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela I apresenta os valores do pH da DAM, do LRSU e de diferentes proporções de mistura de DAM e de LRSU. Mostra também o resultado da observação da presença ou não do efeito de coagulação. A partir dos dados da tabela verifica-se que é possível promover a mistura do efluente em proporções de DAM: LRSU de até 6:1, mantendo-se o pH final próximo da neutralidade. No caso das amostras estudadas, o efeito de coagulação foi observado de forma bem nítida nas relações DAM: LRSU de 5:1 e 6:1. Em virtude da clarificação rápida do efluente obtido, os resultados positivos de diminuição de alguns parâmetros já eram esperados, relacionados principalmente em virtude da floculação dos sólidos suspensos.

Tabela I. pH da DAM, do LRSU e de diferentes proporções de mistura de DAM: LRSU

Efluente	DAM	LRSU	DAM: LRSU					
			1:1	2:1	3:1	4:1	5:1	6:1
pH	2,7	8,3	7,8	7,4	7,1	6,8	6,7	6,6
Efeito de coagulação	Não	Não	Não	Não	Insip.	Insip.	Sim	Sim

Obs.: Insip – insipiente.

A Tabela II apresenta as características das amostras de DAM, LRSU e do efluente clarificado após a mistura na proporção de 6:1. Dos resultados obtidos, observaram-se os seguintes efeitos no efluente final: (a) neutralização de um grande volume de DAM pela alcalinidade do LRSU; (b) remoção dos sólidos suspensos pela hidrólise e precipitação dos hidróxidos de ferro e alumínio; (c) remoção dos metais pela precipitação na forma de hidróxidos; e (d) redução de muitos parâmetros críticos do LRSU pelo efeito de diluição. (e) Clarificação da mistura e floculação rápida, num intervalo de uma hora, sem necessidade de aditivos floculantes. Diante dos resultados, e considerando-se ainda o padrão de pH previsto pelo CONSEMA para emissão de efluentes, e a carga dos efluentes envolvidos, optou-se por manter-se um pH acima de 6.

Tabela II. Características da DAM, do LRSU e do efluente filtrado após a mistura na proporção de 6:1

Parâmetro	DAM	LRSU	Carga/litro DAM+Chorume	DAM/LRSU 6:1 filtração simples	Eficiência de remoção
pH	2,7	8,3	6,61	6,6	0,15
Acidez (mg CaCO ₃ /L)	825,7	ND	707,69	ND	ND
Sólidos Totais (mg/L)	2672	15563	4515,41	3616	19,92
Sólidos Susp. Totais (mg/L)	< 10	915	138,64	< 10	< 10
DQO (mg/L)	43	6560	974,93	638	34,56
DBO ₅ (mg/L)	5	1620	235,95	151	36,00
Nitrogênio Total (mg/L)	4	2378	343,88	306	11,02
Fósforo Total (mg/L)	0,03	2,14	0,33	0,36	-9,09
Fe (mg/L)	208	8,3	179,45	50,7	71,75
Al (mg/L)	18,9	1,15	16,26	4,46	72,57
Mn (mg/L)	8,51	1,01	7,44	6,67	10,35
Zn (mg/L)	0,11	0,8	0,21	0,12	42,86
Cr (mg/L)	ND	0,75	0,13	0,28	-115,38
Cu (mg/L)	0,03	0,09	0,04	ND	ND
Ni (mg/L)	ND	ND	0,036	ND	ND
Cd (mg/L)	ND	ND	<0,01	ND	ND
Pb (mg/L)	ND	ND	0,012	ND	ND
Sulfatos (mg/L)	989	125	865,45	733	15,30
Bac. Heterotróficas Totais (NMP/100 mL)	37	2305600	329732,51	20700	93,72
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	< 1,8	31000	4434,39	2300	48,13



A tabela III apresenta bons resultados de floculação foram obtidos com poliacrilamidas catiônicas e aniônicas de alto peso molecular, comprovados em estudos anteriores. FERREIRA *et al* (2007) O regime de sedimentação foi caracterizado como zonal na coagulação (conforme definido em METCALF & EDDY, 2005), passando para floculento após adição de uma dosagem de 4 mg/L de polímero floculante.

Tabela III Características dos efluentes tratados

Parâmetro	DAM NAOH	Ef Trat. Aeróbio	Ef Trat Anaeróbio	Ef Trat. Simples
Acidez total (mg/L CaCO ₃)	1,57	0	ND	ND
Alumínio total (mg/L)	0,437	1,72	1,16	4,46
Cádmio total (mg/L)	ND	0	ND	<0,01
Chumbo total (mg/L)	ND	0	ND	ND
Cobre total (mg/L)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Coliformes totais (NMP/100 mL)	ND	>1600000	>1600000	2300
Cont.de bactérias heterotróficas (UFC/mL)		20100000	2,75E+07	20700
Cromo total (mg/L)	ND	<0,03	<0,03	0,283
DBO ₅ (mg/L)	4	129	263	151
DQO (mg/L O ₂)	12	429	876	638
Escherichia coli (NMP/100 mL)		3300	160000	1300
Ferro total (mg/L)	4,74	23,5	20,6	50,7
Fósforo total (mg/L)	0,011	0,159	0,312	0,365
Manganês total (mg/L)	2,75	0,499	5,57	6,67
Níquel total (mg/L)	ND	0,079	0,061	0,179
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	4,7	186	282	306,46
Sólidos suspensos totais (mg/L)	67	17	115	<10
Sólidos totais (mg/L)	2984	3856	3152	3616
Sulfato total (mg/L)	1455	956	967	733
Zinco total (mg/L)	0,034	0,052	0,032	0,124
pH	6,8	6,61	6,9	6,61

Observou-se uma grande redução na carga de alguns poluentes: a remoção de matéria orgânica em termos de DBO₅ e DQO ficou próxima a 45%, sendo que em alguns ensaios anteriores, com o pH ácido, os resultados de remoção de DQO chegaram a 96%. A redução de NKT ficou acima de 20%; a remoção dos metais majoritários (Fe e Al) ficou na faixa de 70% e a remoção de sólidos suspensos acima de 98%. O volume de lodo sedimentado foi de aproximadamente 150 L/m³ e a massa de lodo gerada em torno de 500 g/m³.

No tratamento aeróbio, os resultados mais promissores foram relacionados maior capacidade de remoção de 75,24% de zinco, Manganês, com eficiência de 93,29%, ferro total, com eficiência de 86,9%, cromo total com eficiência de 79,23 %, alumínio total, com redução de 89,42%, além de eficiência de quase 100% no tratamento de acidez.

O tratamento simples, alguns parâmetros apresentaram uma ótima eficiência de remoção/ correção do efluente tratado, tais como acidez total, com eficiência superior a 99%, remoção de alumínio total acima de 77%, remoção de sólidos suspensos totais acima de 93% e contagem de bactérias heterotróficas acima de 93%. Por outro lado, alguns parâmetros de controle ficaram acima do permitido pela Resolução do CONSEMA n° 128/2006, a saber: DBO₅ e DQO, que lamentavelmente apresentaram uma eficiência reduzida na ordem de 36 e 34,56%, respectivamente, quando comparado ao experimento inicial de novembro de 2007 (figura 2), que obteve mais de 97 % de eficiência para remoção de DQO.

O tratamento anaeróbio por sua vez apresentou eficiência de remoção significativa para acidez, 100%, alumínio 97,79%, chumbo, cobre, cromo 100%, ferro total 8,52% e zinco com 84,76%. DBO₅, DQO, E.Coli, ferro total, Manganês , Nitrogênio, sólidos totais e sulfato (aumentou 11,73%) apresentaram valores



acima do permitido no CONSEMA, fato este que evidencia a necessidade de outro método conjunto para tratamento do efluente.

Os resultados dos testes de eficiência de remoção de DQO nos experimentos, quando comparados aos ensaios anteriores, mostraram que podem ser otimizados.

Em estudo preliminar obteve-se índices próximos a 97%, envolvendo tratamento simples e estabilização de uma hora. Conforme a figura 2, para as amostras posteriores obteve-se 56% de eficiência de remoção de DQO no tratamento aeróbio, 10,15% no tratamento anaeróbio, e 34,56% no tratamento simples. Um aspecto importante no estudo é que em experimento anterior o pH ficou abaixo de seis e o atual estudo manteve o pH inicial próximo a 6,6. Tal alteração leva à hipótese de perda na eficiência de acordo com o pH, influenciando não só o DQO, como turbidez e remoção de outras substâncias do efluente.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que o tratamento conjunto de DAM:LRSU é uma alternativa viável em aterros de resíduos sólidos urbanos próximos a regiões de mineração de carvão, reduzindo não só o tempo de tratamento, mas principalmente, o consumo de energia no tratamento de efluentes, cujo custo ao considerarmos o processo de transporte, armazenagem, aeração e insumos podem ser reduzidos significativamente, tornando-se uma opção viável economicamente. Levando-se em conta a simples mistura dos fluxos dos efluentes, e o potencial de coagulação do ferro e alumínio dissolvidos no chorume junto à acidez da DAM, permitindo a coagulação dos sólidos suspensos, houve a remoção significativa da carga poluidora.

A principal vantagem do processo é que não é necessária a adição de reagentes para o ajuste de pH e para a coagulação dos sólidos suspensos, além da rapidez do processo de coagulação/floculação. Os resultados obtidos indicam uma redução significativa dos parâmetros iniciais dos efluentes combinados, reduzindo-se o potencial de impacto ambiental de mananciais.

No aspecto econômico, a redução de custos pode ser alcançada com facilidade, pela simplicidade do processo, além da opção de aproveitamento dos resíduos sólidos resultantes após a filtragem. No entanto, a carga hidráulica do sistema fica aumentada, de forma que se recomenda que o processo seja realizado com DAM mais concentrada possível. As características finais do efluente exigem ainda o tratamento complementar por processos biológicos e de aeração, além de outras alternativas viáveis, tais como adsorção por carvão ativado, o que necessariamente deve ser estudado em trabalhos subsequentes, cujos benefícios ao ambiente são bastante promissores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington D.C.: APHA-AWWA-WEF, 1995.
2. A. MAZUELOS; I. PALENCIA; R. ROMERO; G. RODRÍGUEZ; F. CARRANZA. **Ferric iron production in packed bed bioreactors: Influence of pH, temperature, particle size, bacterial support material and type of air distributor**. Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/science> > acessado em 20 nov 08.
3. AMARAL, Miriam Cristina Santos et al. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários. **ABES**, Rio de Janeiro, v.13, n.1, 2008.
4. ANDREOLI, Cleverson Vitorio. **Resíduos sólidos do saneamento: Resolução** processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.
5. BIDONE, Francisco Ricardo Andrade ; POVINELLI, Jurandyr. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.
6. BRASÍLIA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 357/2005**. Estabelece classificação para águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, 17 de março de 2005.
7. BROWN, M; et al. **Minewater Treatment: Technology, Application and Policy**. IWA Publishing, 2002. Disponível em: <http://books.google.com/books>. Acessado em 20 Nov 08.
8. COPELMI, Companhia de pesquisas e lavras minerais; **Projeto de Drenagem**. Minas do Leão, RS: Biblioteca FEPAM, 1987.



9. COPELMI MINERAÇÃO. **Relatório de Impacto Ambiental –Disposição de resíduos sólidos urbanos**. Minas do Leão, RS: Biblioteca FEPAM, 1996.
10. FERREIRA, Karime R.e S.; FAGUNDES, Rosângela; KONARZEWSKI, Vitor Hugo Cordeiro. **Uso de DAM no tratamento de chorume**. Porto Alegre : UFRGS, 2007.
11. HALLBERG, Kevin B; JOHNSON, Barrie. **The microbiology of acidic mine waters**. Bangor, UK: School of Biological Sciences, University of Wales, 2003.
12. KONTOPOULOS, A. Acid Mine Drainage Control. In: **Effluent Treatment in the Mining Industry**. Castro, S.H.; Vergara, F.; Sánchez, M.A (Eds.). University of Concepción, 1998.
13. KOPEZINSKI, Isaac; **Mineração x meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: Ed Universidade/UFRGS, 2000.
14. MATOS, Antonio T. de; CARVALHO, André L. de; AZEVEDO, Izabel C. D. d'A.. Viabilidade do aproveitamento agrícola de percolados de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n. 4, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 14 Jul 2008.
15. METCALF, L.; EDDY, H.E.. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. Boston: McGraw-Hill, 4th Edition, 2003.
16. MONTEIRO, Débora Brentano. **Desenvolvimento e aplicação do teste de toxicidade crônica com *Daphnia magna***: avaliação de efluentes tratados de um aterro sanitário. Florianópolis: UFSC, 2006.
17. RAO, S.R.; GEHR, R.; RIENDENAU, M.; LU, D.; FINCH, J.A. **Acid mine drainage as a coagulant. Minerals: Engineering**, v.5, n.9, p.1011-1020, 1992.
18. RIO GRANDE DO SUL.Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução n. 128/2006**. . Porto Alegre, 24 Nov. 2006.
19. RIO GRANDE DO SUL.Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução n. 129/2006**. Porto Alegre, 24 Nov. 2006.